

© EPODOC / EPO

PN - JP2002232037 A 20020816
PD - 2002-08-16
PR - JP20010025853 20010201
OPD - 2001-02-01
TI - MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT AND ITS
MANUFACTURING METHOD
IN - OSHIMA MASAHIRO
PA - ALPS ELECTRIC CO LTD
EC - H01F10/32N6
IC - H01L43/08 ; G01R33/09 ; G11B5/39 ; H01F10/16 ; H01F10/30 ;
H01F10/32

© WPI / DERWENT

TI - Magneto-resistive element for thin film magnetic head, includes
amorphous insulating layer between anti-ferromagnetic layer and
bias base layer on both sides of track area
PR - JP20010025853 20010201
PN - JP2002232037 A 20020816 DW200271 H01L43/08 017pp
PA - (ALPS) ALPS ELECTRIC CO LTD
IC - G01R33/09 ; G11B5/39 ; H01F10/16 ; H01F10/30 ; H01F10/32
; H01L43/08
AB - JP2002232037 NOVELTY - An amorphous insulating layer (32) is
laminated between anti-ferromagnetic layer (26) and bias base
layer (33) which are formed on both sides of the track area.
- DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is included
for magneto-resistive element manufacturing method.
- USE - For thin film magnetic head.
- ADVANTAGE - Since the bias base layer is formed on
anti-ferromagnetic layer through amorphous insulating layer, direct
influence of forceful orientation of anti-ferromagnetic layer in bias
base layer is prevented, hence favorable and stable characteristic
of magneto-resistive element is achieved.
- DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a sectional
view of thin film magnetic head.
- Anti-ferromagnetic layer 26
- Amorphous insulating layer 32
- Bias base layer 33
- (Dwg.1/13)
OPD - 2001-02-01

AN - 2002-661082 [71]

© PAJ / JPO

PN - JP2002232037 A 20020816

PD - 2002-08-16

AP - JP20010025853 20010201

IN - OSHIMA MASAHIRO

PA - ALPS ELECTRIC CO LTD

TI - MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT AND ITS
MANUFACTURING METHOD

AB - PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problem of not being able to have a high coercive force (Hc) and good squareness ratio (S) at the same time and not being able to form magnetoresistance effect element capable of dealing with track narrowing in the magnetoresistance effect element of a constitution for providing, for example, a bias substrate layer on an antiferromagnetic layer.

- SOLUTION: The magnetoresistance effect element comprises a bias substrate layer 33, a hard bias layer 34 and an electrode layer 36 laminated on the antiferromagnetic layer 26 of both side regions of a multilayer film 31 via an amorphous insulating layer 32. Thus, since the layer 32 is provided on the layer 26, an influence of strong orientation characteristics of the layer 26 to the layer 33 can be avoided by the layer 32.

I - H01L43/08 ;G01R33/09 ;G11B5/39 ;H01F10/16 ;H01F10/30 ;H01F10/32

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-232037

(P2002-232037A)

(43)公開日 平成14年8月16日(2002.8.16)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーム(参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7 B 5 D 0 3 4 5 E 0 4 9
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	
G 1 1 B 5/39		H 0 1 F 10/16	
H 0 1 F 10/16		10/30	

審査請求 有 請求項の数30 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-25853(P2001-25853)

(22)出願日 平成13年2月1日(2001.2.1)

(71)出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72)発明者 大嶋 正弘

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74)代理人 100083286

弁理士 三浦 邦夫

Fターム(参考) 2G017 AA01 AB07 AD55 AD65

5D034 BA04 BA05 BA12 BA15 BA21

CA04 CA08 DA07

5E049 AA01 AA04 AA07 AC01 AC05

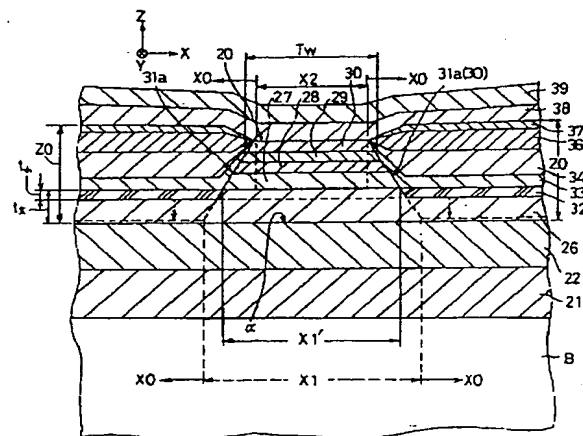
BA12 CB02 DB12 GC01

(54)【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 例えば、反強磁性層の上にバイアス下地層を設けるような構成の磁気抵抗効果素子においては、高保磁力(H_c)と良好な角型比(S)とを同時に発揮することができず、また狭トラック化に対応可能な磁気抵抗効果素子を形成できなかった。

【解決手段】 多層膜31の両側領域の反強磁性層26上に、アモルファス絶縁層32を介してバイアス下地層33、ハードバイアス層34、電極層36を積層する。これにより、反強磁性層26の上にはアモルファス絶縁層32が形成されているので、このアモルファス絶縁層32によって反強磁性層26の強力な配向特性がバイアス下地層33に影響を及ぼすのを回避できるようになる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成したギャップ層と、このギャップ層上面の形成面上に順に積層した、多層膜を構成する少なくとも反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層と、トラック領域の両側領域に、下から順に積層したバイアス下地層、バイアス層とを有するとともに、前記反強磁性層が少なくともフリー磁性層のトラック幅よりもトラック幅方向へ延びたトラック領域の両側領域を有する磁気抵抗効果素子であって、前記トラック領域の両側領域の反強磁性層と前記バイアス下地層との間に、アモルファス絶縁層を介在させたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記両側領域の反強磁性層がトラック領域の反強磁性層よりも薄いことを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を有し、前記固定磁性層は、強磁性層と、非磁性層と、強磁性層とを積層したことを特徴とする請求項1または2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を有し、前記フリー磁性層は、強磁性層、非磁性層、強磁性層を積層したことを特徴とする請求項1または2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 前記アモルファス絶縁層が、 Al_2O_3 または SiO_2 で形成されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 前記アモルファス絶縁層が、6.5 Å以上の膜厚を有することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 前記バイアス下地層が、(bcc)構造膜であることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 前記ギャップ層の下に、下部シールドを積層したことを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 基板上に形成したギャップ層と、このギャップ層上面の形成面上にシード層を介して順に積層した、多層膜を構成する少なくとも反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層と、トラック領域の両側領域に、下から順に積層したバイアス下地層、バイアス層とを有するとともに、前記反強磁性層が少なくともフリー磁性層のトラック幅よりもトラック幅方向へ延びたトラック領域の両側領域を有する磁気抵抗効果素子であって、前記トラック領域の両側領域のシード層若しくは反強磁性層と、前記バイアス下地層との間に、アモルファス絶

縁層を介在させたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 前記両側領域の反強磁性層がトラック領域の反強磁性層よりも薄いことを特徴とする請求項9に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を有し、前記固定磁性層は、強磁性層と、非磁性層と、強磁性層とを積層したことを特徴とする請求項9または10に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を有し、前記フリー磁性層は、強磁性層、非磁性層、強磁性層を積層したことを特徴とする請求項9または10に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項13】 前記アモルファス絶縁層が、 Al_2O_3 または SiO_2 で形成されていることを特徴とする請求項9乃至12のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項14】 前記アモルファス絶縁層が、6.5 Å以上の膜厚を有することを特徴とする請求項9乃至13のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項15】 前記バイアス下地層が、(bcc)構造膜であることを特徴とする請求項9乃至14のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項16】 前記ギャップ層の下に、下部シールドを積層したことを特徴とする請求項9乃至15のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項17】 基板上にギャップ層を形成し、このギャップ層上面の形成面上に、多層膜を構成する少なくとも反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を下から順に積層し、前記ギャップ層上の多層膜のトラック領域の両側領域を、反強磁性層の一部まで堀り削る前処理を行い、前記両側領域に、バイアス下地層、バイアス層を下から順に積層し、前記多層膜の両側領域の反強磁性層上に、アモルファス絶縁層を積層し、このアモルファス絶縁層の上に前記バイアス下地層、バイアス層、電極層を積層することを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項18】 前記両側領域の反強磁性層がトラック領域の反強磁性層よりも薄いことを特徴とする請求項17に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項19】 前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を有し、前記固定磁性層は、強磁性層と、非磁性層と、強磁性層とを積層したことを特徴とする請求項17または18に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項20】 前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を有し、

前記フリー磁性層は、強磁性層、非磁性層、強磁性層を積層したことを特徴とする請求項17または18に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項21】 前記アモルファス絶縁層が、 Al_2O_3 または SiO_2 で形成されていることを特徴とする請求項17乃至19のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項22】 前記アモルファス絶縁層が、65Å以上の膜厚を有することを特徴とする請求項17乃至21のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項23】 前記バイアス下地層が、(bcc)構造膜であることを特徴とする請求項17乃至22のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項24】 基板上にギャップ層を形成し、このギャップ層上の形成面上に、シード層を積層したのち、このシード層上に前記多層膜を構成する少なくとも反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を順に積層し、

前記ギャップ層上の多層膜のトラック領域の両側領域を、シード層の一部の深さまで、或いは反強磁性層全て若しくは一部の深さまで掘り削る前処理を行い、前記両側領域に、バイアス下地層、バイアス層を下から順に積層し、

前記多層膜の両側領域のシード層若しくは反強磁性層上に、アモルファス絶縁層を積層し、このアモルファス絶縁層の上に前記バイアス下地層、バイアス層、電極層を積層させることを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項25】 前記両側領域の反強磁性層がトラック領域の反強磁性層よりも薄いことを特徴とする請求項24に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項26】 前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を有し、

前記固定磁性層は、強磁性層と、非磁性層と、強磁性層とを積層したことを特徴とする請求項24または25に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項27】 前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を有し、

前記フリー磁性層は、強磁性層、非磁性層、強磁性層を積層したことを特徴とする請求項24または25に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項28】 前記アモルファス絶縁層が、 Al_2O_3 または SiO_2 で形成されていることを特徴とする請求項24乃至27のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項29】 前記アモルファス絶縁層が、65Å以上の膜厚を有することを特徴とする請求項24乃至28のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項30】 前記バイアス下地層が、(bcc)構造膜であることを特徴とする請求項24乃至29のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の技術分野】本発明は、磁気抵抗効果素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来技術及びその問題点】磁気抵抗効果素子、例えばスピンバルブ型薄膜素子は、反強磁性層と、固定磁性層と、非磁性導電層と、フリー磁性層とを有する多層膜のトラック領域の両側領域に、バイアス層と電極層とを備えている。このスピンバルブ型薄膜素子では、固定磁性層の磁化とフリー磁性層の磁化とがほぼ交叉する方向に設定されており、フリー磁性層の磁化は記録媒体からの漏れ磁束によって変動することにより、固定磁性層との磁化の関係で電気抵抗が変化し、これにより漏れ磁界が再生される。

【0003】図12は、従来のスピンバルブ型薄膜素子を記録媒体の対向面(ABS面)側から見た断面図である。同図に示すスピンバルブ型薄膜素子(第1従来例)は、下地層101の上に形成される反強磁性層102が図示するトラック幅Tw方向(X方向)に長く形成され、トラック幅領域の中心(以下、便宜的にX方向の中央ということがある)では反強磁性層102が高さ寸法d1だけ突出して形成されている。そして、この突出した反強磁性層102上に、固定磁性層103、非磁性導電層104、フリー磁性層105及び保護層106が形成されており、下地層101から保護層106までの積層体が多層膜107を構成している。

【0004】この第1従来例のスピンバルブ型薄膜素子では、反強磁性層102がPt-Mn(白金-マンガン)合金膜などにより形成される。固定磁性層103の磁化は反強磁性層102との界面で発生する交換結合磁界により、ハイト方向(図示Y方向)に固定される。固定磁性層103及びフリー磁性層105は、Ni-Fe(ニッケル-鉄)合金、Co(コバルト)、Fe-Co(鉄-コバルト)合金、Fe-Co-Ni合金などで形成されている。非磁性導電層104は、Cu(銅)などの電気抵抗の低い非磁性導電材料で形成されている。Z方向は、薄膜の積層方向である。

【0005】そして、図中X方向に延ばされて形成された反強磁性層102上から、及び多層膜107の側面にかけて、Cr(クロム)などで形成された緩衝膜及び配向膜となるバイアス下地層108が形成されており、このバイアス下地層108上には、例えばCo-Pt(コバルト-白金)合金などで形成したハードバイアス層

(硬磁性層) 109が積層されている。

【0006】このハードバイアス層109は、図中X方向(トラック幅方向)に着磁されており、このハードバイアス層109からX方向へのバイアス磁界により、フリー磁性層105の磁化は同一のX方向に揃えられている。バイアス下地層108は、ハードバイアス層109から発生するバイアス磁界を増大させる。

【0007】さらに、このハードバイアス層109の上には、Cr(クロム)、Au(金)、Ta(タンタル)、W(タングステン)などで形成された電極層111が積層されている。

【0008】上述したように、反強磁性層102及び多層膜107の側面にかけて設けたバイアス下地層108の存在により、ハードバイアス層109から発生するバイアス磁界を増大できるようになっている。ところで、このハードバイアス層109は、フリー磁性層105の磁化方向を揃えるためのものであるが、フリー磁性層105付近においてこのハードバイアス層(硬磁性層)109から発生するバイアス磁界を増大させることが必要である。

【0009】しかしながら、このようなスピバルブ型薄膜素子では、つまり、反強磁性層102を中央部の他に両側領域にも残して、その両側の反強磁性層102上にバイアス下地層108及びハードバイアス層109を積層させる構成のものにあつては、反強磁性層102上のハードバイアス層109の結晶配向が好ましくない方向になるといった現象を起こし、ハードバイアス層109の磁気特性が劣化するトラブルを生じている。その結果、再生波形の直線性や安定性の劣化をもたらしている。

【0010】即ち、ハードバイアス層109のバイアス特性は、これを形成する際のバイアス下地層108の配向構造に非常に強く依存しているが、このバイアス下地層108は、例えばCrの場合(体心立方格子の(110)、(200)、(211)が優先配向するのが好ましい)、本来の結晶配向から、その直下にある反強磁性層102との積層構造により、この反強磁性層102の結晶配向に拘束されて変化するのではないかと考えられている。このため、そのバイアス下地層108上に積層されたハードバイアス層109の保磁力が低下してしまうわけである。

【0011】そこで、例えば図13に示すように、下部シールド層112及び下部ギャップ層113の上に、多層膜107を形成後、電極層111及びハードバイアス層109形成の際に、前処理ミリングを過剰に行い、多層膜107に形成された反強磁性層102において、この両側に延出する部分さらにその直下にある下部ギャップ層113の一部までオーバーエッチによって取り除いた後に、バイアス下地層108を積層させたスピバルブ型薄膜素子(第2従来例)も知られている。

【0012】このような構成のスピバルブ型薄膜素子では、良好なハードバイアス特性が得られるが、多層膜107の側面においてバイアス層109が先細りの状態(フリー層105近傍でのバイアス層109の膜厚が減少してしまう)を呈している。そのため、フリー磁性層105の側面付近では、バイアス層109が所望の膜厚を形成することが不可能な状態である。従って、フリー磁性層105付近において、ハードバイアス層(硬磁性層)109から発生するバイアス磁界をより有効に印加させることが困難であった。

【0013】従って、所要の保磁力を発揮するためには、多層膜107の両側領域での前処理ミリング量については、少なくとも多層膜107の全てを除去するか、それより深くイオンミリングすること(オーバーエッチ)が好ましい。ところが、このように多層膜を全て除去し、若しくはそれより深くイオンミリングすると、バイアス層109が先細りの状態となり、フリー磁性層105に有効なバイアス磁界を印加することが難しくなり、再生波形の直線性や安定性が欠如してしまう。

【0014】そこで、本発明は、上記した事情に鑑み、再生波形の直線性や安定性に優れた磁気抵抗効果素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0015】

【発明の概要】本発明は、基板上に形成したギャップ層と、このギャップ層上面の形成面上に順に積層した、多層膜を構成する少なくとも反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層と、トラック領域の両側領域に、下から順に積層したバイアス下地層、バイアス層とを有するとともに、前記反強磁性層が少なくともフリー磁性層のトラック幅よりもトラック幅方向へ延びたトラック領域の両側領域を有する磁気抵抗効果素子であつて、前記トラック領域の両側領域の反強磁性層と前記バイアス下地層との間に、アモルファス絶縁層を介在させたことを特徴としている。

【0016】前記両側領域の反強磁性層がトラック領域の反強磁性層よりも薄いのが好ましい。

【0017】前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、3層の固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を積層した構成であってもよい。

【0018】前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及び3層のフリー磁性層を積層した構成であってもよい。

【0019】前記アモルファス絶縁層が、 Al_2O_3 で形成されているのが好ましい。

【0020】前記アモルファス絶縁層が、6.5Å以上の膜厚を有することが好ましい。

【0021】前記バイアス下地層が、bcc構造膜であることが好ましい。

【0022】前記ギャップ層の下に、下部シールドを積層することができる。

【0023】また、この発明は、基板上に形成したギャップ層と、このギャップ層上面の形成面上にシード層を介して順に積層した、多層膜を構成する少なくとも反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層と、トラック領域の両側領域に、下から順に積層したバイアス下地層、バイアス層とを有するとともに、前記反強磁性層が少なくともフリー磁性層のトラック幅よりもトラック幅方向へ延びたトラック領域の両側領域を有する磁気抵抗効果素子であって、前記トラック領域の両側領域のシード層若しくは反強磁性層と、前記バイアス下地層との間に、アモルファス絶縁層を介在させたことを特徴としている。

【0024】この発明でも、前記両側領域の反強磁性層がトラック領域の反強磁性層よりも薄いのが好ましい。

【0025】前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、3層の固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を積層した構成であってもよい。

【0026】前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及び3層のフリー磁性層を積層した構成であってもよい。

【0027】前記アモルファス絶縁層が、 Al_2O_3 で形成されていることが好ましい。

【0028】前記アモルファス絶縁層が、65 Å以上の膜厚を有することが好ましい。

【0029】前記バイアス下地層が、bcc構造膜であることがこのましい。

【0030】前記ギャップ層の下に、下部シールドを積層してもよい。

【0031】また、この発明の磁気抵抗効果素子の製造方法は、基板上にギャップ層を形成し、このギャップ層上面の形成面上に、多層膜を構成する少なくとも反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を下から順に積層し、前記ギャップ層上の多層膜のトラック領域の両側領域を、反強磁性層の一部まで掘り削る前処理を行い、前記両側領域に、バイアス下地層、バイアス層を下から順に積層し、前記多層膜の両側領域のギャップ層若しくは反強磁性層上に、アモルファス絶縁層を積層し、このアモルファス絶縁層の上に前記バイアス下地層、バイアス層、電極層を積層することを特徴としている。

【0032】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記両側領域の反強磁性層がトラック領域の反強磁性層よりも薄いのが好ましい。

【0033】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、3層の固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を積層した構成であってもよい。

【0034】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及び3層のフリー磁性層を積層した構

成であってもよい。

【0035】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記アモルファス絶縁層が、 Al_2O_3 で形成されているのが好ましい。

【0036】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記アモルファス絶縁層が、65 Å以上の膜厚を有することが好ましい。

【0037】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記バイアス下地層が、bcc構造膜であることが好ましい。

【0038】また、この発明の磁気抵抗効果素子の製造方法は、基板上にギャップ層を形成し、このギャップ層上の形成面上に、シード層を積層したのち、このシード層上に前記多層膜を構成する少なくとも反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を順に積層し、前記ギャップ層上の多層膜のトラック領域の両側領域を、ギャップ層若しくはシード層に達する深さまで、或いは反強磁性層全て若しくは一部の深さまで掘り削る前処理を行い、前記両側領域に、バイアス下地層、バイアス層を下から順に積層し、前記多層膜の両側領域のギャップ層、シード層若しくは反強磁性層上に、アモルファス絶縁層を積層し、このアモルファス絶縁層の上に前記バイアス下地層、バイアス層、電極層を積層させることを特徴としている。

【0039】この発明の磁気抵抗効果素子の製造方法でも、前記両側領域の反強磁性層がトラック領域の反強磁性層よりも薄いのが好ましい。

【0040】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、3層の固定磁性層、非磁性導電層及びフリー磁性層を積層した構成であってもよい。

【0041】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記多層膜が、下から順に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層及び3層のフリー磁性層を積層した構成であってもよい。

【0042】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記アモルファス絶縁層が、 Al_2O_3 で形成されているのが好ましい。

【0043】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記アモルファス絶縁層が、65 Å以上の膜厚を有することが好ましい。

【0044】前記磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記バイアス下地層が、bcc構造膜であることが好ましい。

【0045】

【発明の実施形態】以下、この発明の実施の形態について、添付図面を参照しながら説明する。図1、図2は、本発明における第1の実施形態の薄膜磁気ヘッドを記録媒体との対向面(ABS面)側から見た部分断面図である。

【0046】この第1の実施形態の薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に記録された外部信号を再生するための巨大磁気抵抗効果ヘッド（以下、GMRヘッドと呼ぶ）を有している。図1にはこのGMRヘッドのみが開示されているが、このGMRヘッドの上（Z方向）に記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。このインダクティブヘッドは、磁性材料で形成したコア層とコイル層とを有して構成される。

【0047】この薄膜磁気ヘッドは、例えばアルミナチタンカーバイド（ Al_2O_3-TiC ）で形成されたスライダのトレーリング端面上に形成される。このスライダは、記録媒体との対向面と逆面側で、ステンレス材などによる弾性変形可能な支持部材と接合され、磁気ヘッド装置が構成される。

【0048】このGMRヘッドは、基板B上に、NiFe合金やセンダストなどの磁性材料からなる下部シールド層21を有し、この下部シールド層21上に、 Al_2O_3 や SiO_2 などの絶縁材料を用いて下部ギャップ層22が形成されているとともに、下部ギャップ層22上に磁気抵抗効果素子20が形成される。

【0049】この磁気抵抗効果素子20は、いわゆるスピンバルブ型薄膜素子と呼ばれるものである。以下、この磁気抵抗効果素子20を構成する各層について説明する。

【0050】まず、下部ギャップ層22の上面（磁気抵抗効果素子の形成面 α ）には、反強磁性層26が形成される。この反強磁性層26は、PtMn（プラチナマンガ）からなっているが、例えば、元素X（ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Osのうち1種または2種以上の元素である）とMnとを含有する反強磁性材料、あるいは、元素Xと元素X'合金（ただし元素X'は、Ne, Ar, Kr, Xe, Be, B, C, N, Mg, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Hf, Ta, W, Re, Au, Pb及び希土類元素のうち1種または2種以上の元素である）とMnとを含有する反強磁性材料により形成することができる。

【0051】これらの反強磁性材料は、耐食性に優れ、しかもブロッキング温度も高く、次に説明する固定磁性層27との界面で大きな交換結合磁界を発生し得る。

【0052】次に、この反強磁性層26の上には固定磁性層27が形成されている。この固定磁性層27は、反強磁性層102との界面で発生する交換結合磁界により、磁化方向がハイト方向（図示Y方向）に固定されており、NiFe合金、CoFe合金、Co、CoNiFe合金などにより形成される。この固定磁性層27が積層された後、ハイト方向（図示Y方向）への磁場中アニールを施すことで、固定磁性層27と反強磁性層26との界面で発生する交換結合磁界により、固定磁性層27

の磁化はハイト方向（図示Y方向）に強固に固定される。この固定磁性層27は、例えば、20Å以上で60Å以下程度の膜厚で形成される。

【0053】この固定磁性層27の上には非磁性導電層28が形成されている。この非磁性導電層28は、例えばCuなどの電気抵抗の低い導電性材料によって形成される。この非磁性導電層28は例えば25Å程度の膜厚で形成される。

【0054】次に、前記非磁性導電層28の上にはフリー磁性層29が形成される。このフリー磁性層29は、磁化の方向が記録媒体からの漏れ磁束によって変動するものであり、NiFe合金、CoFe合金、Co、CoNiFe合金などによって形成される。また、このフリー磁性層29は、X方向の幅が磁気的な読取領域、トラック幅（Tw）を構成するものであり、ここではフリー磁性層29の積層方向の中間厚さ部分におけるX方向の長さ寸法としている。また、このフリー磁性層29は、20Å以上で40Å以下程度の膜厚で形成される。またこのフリー磁性層29は、非磁性導電層28と対向する側にCo又はCoFe膜などを有してもよい。これにより、非磁性導電層28との界面での金属元素等の拡散を防止でき、抵抗変化率（ ΔGMR ）を大きくすることができる。

【0055】次に、フリー磁性層29の上には保護層30が形成される。この保護層30はTaなどで形成される。この保護層30の膜厚は30Å程度である。

【0056】上記した反強磁性層26から保護層30の各層で構成される、即ちABS面方向から見たときの断面形状が略台形状を有する領域、具体的には、図1においてX1～X2の間の幅を有する各層からなる領域（以下、これをトラック領域とよぶ）にある多層膜31は、トラック幅方向（図示X方向）の両側端面31a、31aが、反強磁性層26の上面部側から前記保護層30の上面まで連続した傾斜面となっている。なお、このトラック領域は、後述するアモルファス絶縁膜32の厚さt1（図2参照）に応じて変化する。例えば、図1においてはトラック領域がX1である。また、例えば、アモルファス絶縁膜32の上面が反強磁性層26の上面よりも高い場合、トラック領域がX1'となる。そして、反強磁性層26がフリー磁性層29のトラック幅よりもトラック幅方向の両側に延びている。

【0057】多層膜31は、まず各層を磁気抵抗効果素子の形成面 α 上に成膜した後、この多層膜31の中央部分上にのみリフトオフ用のレジスト層を形成し、このレジスト層に覆われていない多層膜31の両側領域がイオンミリングなどでエッチングして除去される。

【0058】この実施形態では、多層膜31の両側端面31a、31aよりも外側にある、即ち、トラック領域よりもトラック幅方向の外側からトラック領域を臨むよ

うに位置し、X0、Z0を同時に満足する領域（以下、両側領域とよぶ）にある各層について、反強磁性層26の一部のみを残しその上側の各層全てを除去し、例えば、図1に示すような台形状に形成する。残された多層膜31の両側端面31aの形成面 α に対する傾きは、この両側領域の多層膜を、例えばリフトオフ法でエッチングして除去することにより、所望の角度で形成できる。従って、反強磁性層26の両側領域が、反強磁性層26のトラック領域よりも薄くなる。

【0059】なお、この実施形態では、反強磁性層の上部を前処理ミリングによって一部除去しているが、必ずしもこれを除去する必要はない。つまり、多層膜31の両側領域にある反強磁性層26をそのまま残しておくことも可能である。また、後述するように、この多層膜の両側領域について、例えば図3に示すように、反強磁性層を含むその上側の各層を全て除去して形成面 α を露出させるようにしてもよい。

【0060】このように台形状にした多層膜31の両側領域には、下から順にアモルファス絶縁膜32、バイアス下地層33、ハードバイアス層34、電極層36、及び保護層37がそれぞれ積層されている。各層については主に図2を参照しながら説明する。

【0061】図2は、図1に示す薄膜磁気ヘッドの右側部分のみを拡大した部分断面図である。この図2に示すように、アモルファス絶縁膜32は、多層膜31の両側領域の形成面 α 上方の反強磁性層26上に形成され、このアモルファス絶縁膜32の多層膜31側の端面32aは、多層膜31の両側端面31aと接して形成される。このアモルファス絶縁膜32は、この上に形成されるバイアス下地層33及びハードバイアス層34の配向状態について、このアモルファス絶縁膜32直下にある反強磁性層26からの配向特性が悪影響をもたらさぬようにするためのものであって、結晶構造が規則化されていないアモルファス状態のものを介在させることで、反強磁性層26の配向がバイアス下地層33の配向に悪影響を与えないように機能している。

【0062】しかも、このアモルファス絶縁膜32は、バイアス下地層33及びハードバイアス層の底上げ用の基材としても機能しており、これを介して形成されるハードバイアス層34を多層膜31の両側領域内で高い位置に形成し、フリー磁性層29の両側に十分な体積を有して対向させることができる。さらに、このアモルファス絶縁膜32は、絶縁機能を有するので、出力（GMR効果）には寄与しない反強磁性材料にセンス電流が分流することを抑制する（シャントロスを抑制する）ので、出力（GMR効果）を大きくすることもできる。なお、このアモルファス絶縁膜の膜厚 t_1 は、バイアス下地層33の配向に悪影響を与えないようにするため、6.5 μ m以上であることが好ましい。

【0063】後述する製造方法で説明するように、この

アモルファス絶縁膜32は、スパッタの際、形成面 α 上の反強磁性層26に対してほぼ垂直方向からのスパッタ粒子の入射・堆積により成膜される。特に、このアモルファス絶縁膜32は、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法などを用いて成膜されている。これにより、図2に示すように、アモルファス絶縁膜32の上面32bは、形成面 α とほぼ平行な方向に形成されている。このため、このアモルファス絶縁膜32には、多層膜31の両側端面31a上において保護層30方向に向けて斜め上方に長く伸びる延出部は形成されない。

【0064】なお、アモルファス絶縁膜32の上面32bは、反強磁性層26の下面26aよりも上側（図示Z方向）に位置していることが好ましい。これによって、ハードバイアス層34を、多層膜31の両側領域内において高い位置で形成でき、フリー磁性層29の両側に十分な体積を有して対向させることが可能である。

【0065】次に、アモルファス絶縁膜32上から多層膜31の両側端面31a上にかけてバイアス下地層33が形成されている。このバイアス下地層33は、アモルファス絶縁膜32上に形成された平坦部33aと、多層膜31の両側端面31a上に沿って保護層30方向に伸びる延出部33bとで構成される。

【0066】後述する製造方法で説明する通り、バイアス下地層33を形成するときの形成面 α の垂直方向に対するスパッタ粒子入射角度は、アモルファス絶縁膜32の形成時のスパッタ粒子入射角度よりも大きい。これによって、バイアス下地層33は、アモルファス絶縁膜32上のみならず多層膜31の両側端面31a上にも形成する。

【0067】なお、多層膜31の両側領域に形成されるバイアス下地層33の下には、直接には反強磁性層26が形成されない。このため、バイアス下地層33が反強磁性層26の結晶配向の影響を強く受けることはない。よって、バイアス下地層33上に形成されるハードバイアス層34の保磁力を大きくすることが可能である。

【0068】また、前述したように、形成面 α の上の反強磁性層26上でのアモルファス絶縁膜32は、この形成面 α 上において、バイアス下地層33を底上げさせる機能も有している。これによって、バイアス下地層33上に積層されるハードバイアス層34を多層膜31の両側領域内より高い位置に形成でき、フリー磁性層29の両側に一層十分な体積を有して対向させることができる。

【0069】次に、このバイアス下地層33上にはハードバイアス層34が形成される。この実施形態では、形成面 α 上の反強磁性層26の上にアモルファス絶縁膜32及びバイアス下地層33を介した位置、すなわちバイアス下地層33の平坦部33a上における、ハードバイアス層34の下面34aは、フリー磁性層29の下面2

9aよりも図示下側（図示Z方向の逆方向）に位置し、かつ、平坦部33a上におけるハードバイアス層34の上面34bは、フリー磁性層29の下面29aよりも図示上側（図示Z方向）に位置することが好ましい。これによって、ハードバイアス層34を、フリー磁性層29の両側に十分な大きさの体積を有して対向させることが可能である。

【0070】バイアス下地層33の平坦部33a上におけるハードバイアス層34の上面34bは、フリー磁性層29の上面29bと同一面上に位置するか、あるいはフリー磁性層29の上面29bよりも図示上側（図示Z方向）に位置することがさらに好ましい。これによってフリー磁性層29の下面29a及び上面29bから、形成面 α と平行な方向に仮想線D、Eを引いた時、多層膜31の両側領域における2本の仮想線D、E内には、バイアス下地層33の延出部33bとハードバイアス層34のみが存在することになるため、ハードバイアス層34からより十分なバイアス磁界をフリー磁性層29に供給することが可能になる。

【0071】このように、ハードバイアス層34とフリー磁性層29との間に、膜厚の薄いバイアス下地層33の延出部33bのみが介在すると、ハードバイアス層34からのバイアス磁界は極端に小さくならず、十分な大きさのバイアス磁界をフリー磁性層29に供給できる。

【0072】上記した構成であれば、ハードバイアス層34からフリー磁性層29に適切な大きさのバイアス磁界を供給でき、これによりフリー磁性層29の磁化を図示X方向に適切に単磁区化することが可能である。

【0073】そして、このハードバイアス層34上には、電極層36が形成され、さらに電極層36上にはTaなどで形成された保護層37が形成される。

【0074】次に、アモルファス絶縁層32及びバイアス下地層33の材質について、以下に説明する。アモルファス絶縁層32は、前述したように、そのアモルファス（非晶質）の性質により、直下に反強磁性層26が存在してもこの配向特性の影響を絶ち切る作用があり、同時に出力（GMR効果）に寄与しない反強磁性層26にセンス電流が分流することを抑制するために、電気的絶縁性が要求される。このようなアモルファスで電気絶縁性のアモルファス絶縁層32としては、例えばアルミナ（ Al_2O_3 ）が用いられているが、これ以外にも、例えば SiO_2 などが使用可能である。また、 Al_2O_3 と SiO_2 等とを積層する多層膜であってもよい。一方、バイアス下地層33は、結晶構造が体心立方構造（bcc構造）の金属膜で形成されることが好ましい。なお、このときバイアス下地層33の結晶配向は（110）、（200）、（211）面が優先配向する。

【0075】上記のように、バイアス下地層33の下に、直接、反強磁性層26が形成されていないため、バイアス下地層の結晶構造を体心立方構造（bcc構造）

に適正に調整できる。このような結晶構造及び結晶配向性を有する金属膜によってバイアス下地層33を形成する理由は、このバイアス下地層33上に形成されるハードバイアス層34の保磁力と角型比を高めるためである。

【0076】また、ハードバイアス層34は、CoPt合金やCoPtCr合金などで形成される。これら合金の結晶構造は、稠密六方構造（hcp）となっている。

【0077】ここで、金属膜で形成された（bcc）構造のバイアス下地層33とハードバイアス層34を構成するCoPt系合金の（hcp）構造は、その格子のマッチングの関係で、例えばハードバイアス層34の（hcp）構造のc軸は、膜面内に配向する。これは、膜面内に着磁しているハードバイアス層34として非常に有利な膜構造である。このため、より大きな保磁力と良好な角型比を併せ持つことができる。

【0078】バイアス下地層33は結晶構造が体心立方構造（bcc構造）を有するため、その金属膜は、Cr、W、Mo、V、Mn、Nb、Taのいずれか1種または2種以上の元素で形成されることが好ましいが、特に、Cr膜で形成されることが好ましい。このCr膜は、ハードバイアス層34の結晶配向を整える機能に優れ、ハードバイアス層34の保磁力を適切に大きくすることができるからである。

【0079】形成面 α 上に形成された以上の磁気抵抗効果素子20の上には、図1に示すように、絶縁材料を使用して上部ギャップ層38が形成され、この上部ギャップ層38の上には磁性材料を使用して上部シールド層39が形成される。

【0080】＜第2実施形態＞次に、この発明の第2の実施形態について、図3を参照しながら説明する。図3は、本発明の第2の実施形態に係る薄膜磁気ヘッドを記録媒体との対向面（ABS面）側から見た部分断面図である。

【0081】この薄膜磁気ヘッドも、記録媒体に記録された外部信号を再生するためのGMRヘッドである。図3には、このGMRヘッドのみが開示されているが、第1の実施形態と同様に、GMRヘッドの上に記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。

【0082】この実施形態の第1の実施形態と異なる部分は、多層膜31の下部及びその両側領域に、シードレイヤ層25を有する点である。即ち、この実施形態では、下部シールド21の上の下部ギャップ層22の上面（磁気抵抗効果素子の形成面 α ）に、シードレイヤ層25が形成されている。このシードレイヤ層25は、下地層23と、反強磁性層26との界面と平行な方向に面心立方晶の（111）面あるいは体心立方晶の（110）面が優先配向した、非磁性材料あるいは磁性材料で形成された配向層24とで構成される。

【0083】シードレイヤ層25は、一層の非磁性材料

あるいは磁性材料で形された配向層24のみで構成されていてもよいが、配向層24の結晶配向を整えるためには下地層23が形成されている方が好ましい。

【0084】下地層23は、Ta(タンタル)、Hf(ハフニウム)、Nb(ニオブ)、Zr(ジルコニウム)、Ti(チタン)、Mo(モリブデン)、W(タングステン)のうち少なくとも1種以上で形成されることが好ましい。また、配向層24は、上記のように磁性材料あるいは非磁性材料で形成されるが、特に高抵抗材料で形成することが好ましい。この配向層24は、例えばNiFeY合金(ただしYは、Cr、Rh、Ta、Hf、Nb、Zr、Tiから選ばれる少なくとも1種以上)で形成されることが好ましい。このうち、配向層24はNiFeCr合金で形成されることがより好ましい。この配向層24の(111)面を、より適切に反強磁性層26との界面と平行な方向に優先配向させることができ、さらに高比抵抗にできるからである。

【0085】配向層24が高比抵抗であると、後述する電極層36から流れるセンス電流のシードレイヤ層25への分流を抑制することが可能である。これによって抵抗変化率(ΔMR)を向上させることができ、またバルクハウゼンノイズを減少させることができる。

【0086】なお、シードレイヤ層25のうち下地層23は、0Å以上で50Å以下程度の膜厚で、配向層24は10Å以上で100Å以下程度の膜厚で形成される。

【0087】次に、このシードレイヤ層25の上には反強磁性層26が形成されるが、これは先の第1の実施形態のものと同様の構成である。即ち、この反強磁性層26は、耐食性に優れ、しかもブロッキング温度も高く、次に説明する固定磁性層27との界面で大きな交換結合磁界を発生し得る。また、この反強磁性層26は50Å以上で250Å以下の膜厚で形成されることが好ましい。

【0088】上記したように、シードレイヤ層25は、反強磁性層26との界面と平行な方向に面心立方晶の(111)面あるいは体心立方晶の(110)面が優先配向していることで、シードレイヤ層25上に形成される反強磁性層26の(111)面、さらには反強磁性層26上に形成される各層の(111)面を界面と平行な方向に優先配向させることが可能であり、これによって結晶粒径が大きくなり抵抗変化率(ΔMR)を向上させることが可能である。

【0089】固定磁性層27は、20Å以上で60Å以下程度の膜厚で形成されることが好ましい。一方、非磁性導電層28は例えば25Å程度の膜厚で形成される。フリー磁性層29は、20Å以上で40Å以下程度の膜厚で形成されることが好ましい。また、フリー磁性層29は、2層構造で形成され、非磁性導電層28と対向する側にC₆₀膜が形成されていることが好ましい。これにより、非磁性導電層28との界面での金属元素等の拡散

を防止でき、抵抗変化率(ΔGMR)を大きくすることができる。フリー磁性層29の上の保護層30はTaなどで形成され、その膜厚は30Å程度である。

【0090】この第3の実施形態でも、シードレイヤ層25から保護層30の各層で構成される多層膜31のトラック幅方向(図示X方向)の両側端面31a、31aが、シードレイヤ層25の下面から保護層30の上面まで連続した傾斜面となっている。

【0091】多層膜31は、先の第1の実施形態と同様に、まず各層を磁気抵抗効果素子20の形成面 α 上に成膜した後、多層膜31の中央部上のみリフトオフ用のレジスト層を形成し、レジスト層に覆われていない多層膜31の両側領域をエッチングで除去する。

【0092】この多層膜31の両側領域は、形成面 α が露出するまで深くエッチングせず、シードレイヤ層25の一部を残すか、若しくは反強磁性層26の一部を残すような構成である。

【0093】なお、多層膜31の両側領域には、先の第1の実施形態と同様に、下から順にアモルファス絶縁層32、バイアス下地層33、ハードバイアス層34、電極層36、及び保護層37がそれぞれ積層されている。

【0094】アモルファス絶縁層32は、多層膜31の両側領域の形成面 α 上より上面に(高い位置に)形成されるが、アモルファス絶縁層32の多層膜31側の端面32aは、多層膜31の両側端面31aと接して形成される。アモルファス絶縁層32上にバイアス下地層33を介して形成されるハードバイアス層34は、多層膜31の両側領域内で高い位置に形成され、フリー磁性層29の両側に十分な体積を有して対向される。この形成面 α 上より上面(高い位置)に形成されるアモルファス絶縁層32の膜厚 t_2 は、65Å以上であることが好ましい。また、バイアス下地層33の膜厚 H_2 は、35Å以上で75Å以下であることが好ましい。

【0095】この実施形態でも、アモルファス絶縁層32は、スパッタの際、形成面 α に対してほぼ垂直方向からスパッタ粒子の入射・堆積により成膜される。このため、底上げ層32には、多層膜31の両側端面31a上に沿って保護層30方向に長く延びる延出部は形成されない。即ち、図3に示すように、底上げ層32の上面32bは、形成面 α とほぼ平行な方向に形成されている。

【0096】なお、アモルファス絶縁層32の上面32bは、反強磁性層26の下面26aよりも上側(図示Z方向)に位置していることが好ましい。これによって、ハードバイアス層34を、多層膜31の両側領域内において高い位置で形成でき、フリー磁性層29の両側に十分な体積を有して対向させることが可能である。

【0097】この実施形態では、多層膜31の両側領域に形成されるバイアス下地層33の下には、アモルファス絶縁層32が存在し、その下方にシードレイヤ層25及び反強磁性層26が存在する。このため、バイアス下

地層33がシードレイヤ層25及び反強磁性層26の結晶配向の影響を受けることはない。よって、バイアス下地層33上に形成されるハードバイアス層34の保磁力を大きくすることが可能である。しかも、バイアス下地層33の下にアモルファス絶縁層32を介在させ、バイアス下地層33やハードバイアス層34の底上げを図っているので、ハードバイアス層34が先細りした状態となってこれらの体積が低下するといった不都合を解消することができる。

【0098】バイアス下地層33の平坦部33a上における、ハードバイアス層34の下面34aは、フリー磁性層29の下面29aよりも図示下側（図示Z方向の逆方向）に位置し、かつ、平坦部33a上におけるハードバイアス層34の上面34bは、フリー磁性層29の下面29aよりも図示上側（図示Z方向）に位置することが好ましい。

【0099】さらに、この実施形態では、上記の構成に加えて、バイアス下地層33の平坦部33a上におけるハードバイアス層34の上面34bは、フリー磁性層29の上面29bと同一面上に位置するか、あるいはフリー磁性層29の上面29bよりも図示上側（図示Z方向）に位置することがさらに好ましい。これによって、フリー磁性層29の下面29a及び上面29bから、それぞれ形成面 α と平行な方向に仮想線（図略）を引いたとき、多層膜31の両側領域における2本の仮想線内には、バイアス下地層33の延出部33bとハードバイアス層34のみが存在することになるため、ハードバイアス層34からより十分なバイアス磁界をフリー磁性層29に供給することが可能になる。

【0100】さらに、この実施形態では、先の実施形態のように、ハードバイアス層34とフリー磁性層29との間には、膜厚の薄いバイアス下地層33の延出部33bのみが介在するため、ハードバイアス層34からのバイアス磁界は極端に小さくならず、十分な大きさのバイアス磁界をフリー磁性層29に供給できる。

【0101】この実施形態では、バイアス下地層33の下には、アモルファス絶縁層32が存在し、その下方にシードレイヤ層25及び反強磁性層26が存在している。そのため、バイアス下地層の結晶構造を体心立方構造（bcc構造）に適正に調整できる。また、先の実施形態と同様に、バイアス下地層33は、結晶構造が体心立方構造（bcc構造）の金属膜で形成されることが好ましく、バイアス下地層33の結晶配向は（110）、（200）、（211）面が優先配向する。

【0102】この実施形態のハードバイアス層34も、CoPt合金やCoPtCr合金などで形成され、これら合金の結晶構造は、稠密六方構造となっている。

【0103】この実施形態でも、上記の金属膜で形成されたbcc構造のバイアス下地層33とハードバイアス層34を構成するCoPt系合金のhcpは、その格子

のマッチングの関係で、ハードバイアス層34のhcp構造のc軸は、膜面内に配向する。その結果、膜面内に着磁して用いるハードバイアス層34として、非常時有利な構造である。即ち、より大きな保磁力（Hc）と良好な角型比を併せ持つことができるようになる。

【0104】また、この実施形態でも、アモルファス絶縁層32を絶縁材料によって形成することで、多層膜31の両側領域では、バイアス下地層33と下部シールド層21と間の絶縁膜（ギャップ）を挿入することになり、その部位の絶縁耐圧を向上させることが可能である。なお、この実施形態でも、下部ギャップ層22とアモルファス絶縁層32とを別々の絶縁材料によって形成しても良いし、同じ絶縁材料によって形成してもよい。

【0105】なお、この実施形態でも、図3に示すように、形成面 α 上に形成された磁気抵抗効果素子22の上には、絶縁材料を使用して上部ギャップ層38が形成され、この上部ギャップ層38の上には磁性材料を使用して上部シールド層39が形成される。

【0106】従って、この第2の実施形態によれば、最下層にシードレイヤ層25を形成し、さらにその上に反強磁性層26を形成することで、反強磁性層26の結晶配向が整えられ、磁気抵抗効果素子20の抵抗変化率を向上させることができる。また、この実施形態によれば、多層膜31の両側に形成されるバイアス下地層33の下側には、アモルファス絶縁層32が存在し、その下方にシードレイヤ層25が存在するため、バイアス下地層33を適切な結晶構造及び結晶配向を有して形成することができる。これによって、バイアス下地層33の上に形成されるハードバイアス層34の保磁力を高めることができる。

【0107】＜第3実施形態＞次に、この発明の第3の実施形態について、図4を参照しながら説明する。図4は、本発明における第3の実施形態の薄膜磁気ヘッドを記録媒体との対向面（ABS面）側から見た部分断面図である。

【0108】この薄膜磁気ヘッドも、記録媒体に記録された外部信号を再生するためのGMRヘッドである。図4には、このGMRヘッドのみが開示されているが、第1の実施形態と同様に、GMRヘッドの上に記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。

【0109】図4の第3の実施形態と図1の第1の実施形態との相違点は、固定磁性層27及びフリー磁性層29の構造にある。図1では固定磁性層27及びフリー磁性層29は共に単層で形成されていたが、図4では固定磁性層27及びフリー磁性層29が共に3層で形成されている。なお、他の実施形態では、アモルファス絶縁層32の直下にシード層25が形成されていてもよい。

【0110】固定磁性層27は、磁性層40、中間層41及び磁性層42で構成されている。磁性層40と42は、例えばCo（コバルト）で形成され、中間層41は、

例えばRu(ルテニウム)などの非磁性層で形成される。この3層構成により、磁性層40と磁性層42の磁化方向は互いに反平行状態にされる。これはいわゆるフェリ状態と呼ばれるものであり、固定磁性層27の磁化を安定した状態にでき、また固定磁性層27と反強磁性層26との界面で発生する交換結合磁界を大きくすることができる。

【0111】同様に、フリー磁性層29は、Coなどで形成した磁性層43、磁性層45と、この磁性層43、45間のRuなどの非磁性層で形成される中間層44とで構成されている。これにより、磁性層43、45の磁化は互いに反平行にされ、フリー磁性層29の磁化を安定した状態に保持でき、各磁性層43、45の磁気的な膜厚を薄く形成できる。その結果、フリー磁性層の磁化は、磁性層43、45が外部磁界に対し反平行を保ちながら反転しやすくなり、再生特性の向上を図ることができる。このフェリ構造は、固定磁性層27及びフリー磁性層29のどちらか一方において形成されていてもよい。

【0112】この磁性層40、42および磁性層43、45の膜厚はそれぞれ10〜70Å程度で形成される。また中間層41、44の膜厚は3Å〜10Å程度で形成されて形成される。

【0113】この第3の実施形態においても、多層膜46の最下層及びその両側領域はシードレイヤ層25であり、また多層膜46のトラック幅方向(図示X方向)における両側端面46a、46aは、シードレイヤ層25の下面から保護層30の上面にまで連続する傾斜面となっている。また、バイアス下地層33の下側には、アモルファス絶縁層32が存在し、その下方にシードレイヤ層25及び反強磁性層26が存在することから、バイアス下地層33を所定の結晶配向に保つことができる。

【0114】しかも、前記多層膜46の両側領域には、アモルファス絶縁層32を形成することで、保磁力の大きいハードバイアス層34をフリー磁性層29の両側に十分な膜厚を有して対向させることができる。また、このフリー磁性層29とハードバイアス層34間に介在するバイアス下地層33の膜厚も薄く形成できることから、ハードバイアス層34からのバイアス磁界をフリー磁性層29に十分に供給でき、フリー磁性層29の単磁区化を促進させることができる。

【0115】さらに、固定磁性層27の中間層41の上面までアモルファス絶縁層32を積層することが好ましい。即ち、固定磁性層27の中間層41、磁性層40、反強磁性層26へのセンス電流の流れ込みを少なくすることで、ジャントロスが低減し出力を大きくすることができる。

【0116】次に、図5ないし図10は、図1に示す薄膜磁気ヘッドの製造方法を示す工程図である。なお、各図は記録媒体との対向面(ABS面)側から見た部分断

面図である。

【0117】(1)図5に示す工程では、基板B上に、パーマロイやセンダストなどの磁性材料で形成された下部シールド層21を形成し、この下部シールド層21の上に、アルミナなどの絶縁材料で形成された下部ギャップ層22を形成する。

【0118】(2)次に、下部ギャップ層22上の全面に、磁気抵抗効果素子20を構成する多層膜31の各層を成膜する。即ち、まず、下部ギャップ層22上にPtMn合金などで形成された反強磁性層26を形成する。さらに、この反強磁性層26の上に、NiFe合金などの磁性材料で形成された固定磁性層27、Cuなどで形成された非磁性導電層28、NiFe合金などで形成されたフリー磁性層29、及びTaなどで形成された保護層30を形成する。

【0119】また、図3に示すシードレイヤ層25を形成するには、まず、下部ギャップ層21上にTaなどの下地層23及びNiFeCr合金などの非磁性材料層24で構成されるシードレイヤ層25を形成する。次に、そのシードレイヤ層25の上にPtMn合金などで形成された反強磁性層26を形成する。また図4に示す多層膜46を成膜するには、固定磁性層27及びフリー磁性層29をフェリ状態にして形成する。

【0120】(3)次に、図5に示すように、保護層30の上の中央部部分にリフトオフ用のレジスト層Rを塗布工程・露光現像工程により形成する。同図に示すように、このレジスト層Rの下面57bには、切り込み部57a、57aが設けられる。

【0121】(4)次に、図6に示す工程では、レジスト層Rによって覆われていない多層膜31のトラック幅方向(図示X方向)における両側領域31b、31bをエッチングにより除去する。

【0122】この実施形態では、多層膜31の両側領域31b、31bを、下部ギャップ層22の上面(磁気抵抗効果素子の形成面 α)が露出する事のない程度の深さまで浅く反強磁性層26の一部をエッチングにより削り込む。これにより、残された多層膜31の両側端面31a、31aは、反強磁性層26の上面から保護層30の上面にまで連続した傾斜面となり、多層膜31はほぼ台形状となる。

【0123】(5)次に、多層膜31の両側領域31bに露出した表面上にアモルファス絶縁層32をスパッタ成膜する。なお、このとき、このアモルファス絶縁層32の多層膜31側の端面32aが多層膜31の両側端面31aに接するようにする。図7に示すように、アモルファス絶縁層32のスパッタ成膜は、形成面 α の垂直方向(図示Z方向)に対して、第1のスパッタ粒子入射角度 θ_1 を有して行なわれる。この第1のスパッタ粒子入射角度 θ_1 は、具体的には、0°以上で10°以下であることが好ましい。

【0124】即ち、アモルファス絶縁層32は、前記形成面 α に対してほぼ垂直方向からスパッタ成膜される。具体的には、ロングスロースパッタ法(LTS)、イオンビームスパッタ法(IBD)、コリメーションスパッタ法などにより行うことが好ましい。これにより、図7に示すように、アモルファス絶縁層32の上面32bは、形成面 α とほぼ平行に形成され、上面32bよりも上側に位置する多層膜31の両側端面31aにアモルファス絶縁層32が付着しない。

【0125】アモルファス絶縁層32は、 Al_2O_3 や SiO_2 などの絶縁材料によって形成する。この場合、アモルファス絶縁層32で、バイアス下地層33と下部シールド層21間の絶縁性を図ることが可能になるため絶縁耐圧を向上させることが可能である。

【0126】アモルファス絶縁層32の上面32bは、反強磁性層26の下面26aよりも上側に位置するようにアモルファス絶縁層32を成膜することが好ましい。なお、アモルファス絶縁層32の膜厚は、65Å以上であることが好ましい。

【0127】また、以下の工程で成膜されるバイアス下地層33、ハードバイアス層34、電極層36、及び保護層37もまた上記のスパッタ技術によって成膜することが好ましい。

【0128】また、この実施形態では、バイアス下地層33を、結晶構造が(bcc)構造の金属膜で形成することが好ましい。この金属膜にはCr、W、Mo、V、Mn、Nb、Taを挙げることができ、これら1種以上あるいは2種以上の元素を選択することが可能であるが、この実施形態では特にCr膜でバイアス下地層33をスパッタ成膜することが好ましい。

【0129】(6)次に、図8に示す工程では、アモルファス絶縁層32の上面32bから多層膜31の両側端面31aにかけてバイアス下地層33をスパッタ成膜する。同図に示すように、バイアス下地層33は、形成面 α の垂直方向(図示Z方向)に対して、第2のスパッタ粒子入射角度 θ_2 を有してスパッタ成膜されるが、第2のスパッタ粒子入射角度 θ_2 は、第1のスパッタ粒子入射角度 θ_1 よりも大きいことが好ましい。この第2のスパッタ粒子入射角度 θ_2 は、具体的には 15° 以上で 60° 以下であることが好ましい。より好ましくは 30° 以上で 60° 以下である。

【0130】即ち、バイアス下地層33は、アモルファス絶縁層32の形成のときよりも、形成面 α の垂直方向に対してより傾いた方向からスパッタ成膜される。このため、同図に示すように、バイアス下地層33は、アモルファス絶縁層32上のみならず、多層膜31の両側端面31a上にも成膜されやすい。なお、このように、バイアス下地層33が多層膜31の両側端面31a上に延出形成されるときは、バイアス下地層33はフリー磁性層29の両側端面にまで延出形成されることが好ましい

が、バイアス下地層33がフリー磁性層29の両側端面の下側までしか延出していなくてもかまわない。また、バイアス下地層33は、多層膜31の両側端面上に延出せずアモルファス絶縁層32上にのみ形成されていてもよい。

【0131】また、この形成面 α 上におけるバイアス下地層33の上面33cが、フリー磁性層29の下面29aよりも下側に位置するように、図7での工程時におけるアモルファス絶縁層32及び図8での工程時におけるバイアス下地層33の膜厚を適切に調整しながらスパッタ成膜することが好ましい。これによって、ハードバイアス層34をフリー磁性層29の両側に十分な体積を有して対向させることが可能である。

【0132】また、この実施形態では、前述したように、バイアス下地層33を、結晶構造が(bcc)構造の金属膜で形成することが好ましく、そのような金属膜としてはCr、W、Mo、V、Mn、Nb、Taのうちいずれか1種以上を選択できる。このうちCr膜でバイアス下地層33を形成することが好ましい。このCr膜は、次の工程で形成されるハードバイアス層34をhcp構造の[100]の配向、即ち、c軸が膜面内に配向し、ハードバイアス層34の保磁力を大きくすることができるからである。

【0133】(7)次に、図9に示す工程では、バイアス下地層33上にCoPtCr合金などによるハードバイアス層34をスパッタ成膜する。この実施形態では、上記したように、多層膜31の両側領域31bにアモルファス絶縁層32を形成しており、これによってアモルファス絶縁層32上にバイアス下地層33を介して形成されるハードバイアス層34を、フリー磁性層29の両側に十分な体積を有して対向させることが可能である。

【0134】したがって、この実施形態の製造方法によって形成された薄膜磁気ヘッドによれば、ハードバイアス層34からのバイアス磁界を適切にフリー磁性層29に供給でき、フリー磁性層29の磁化を適切に単磁区化することが可能になっている。また、この実施形態では、バイアス下地層33の下に、直接、反強磁性層26が形成されていないため、バイアス下地層33の結晶配向を適切に整えることができ、よってバイアス下地層33上に形成されるハードバイアス層34の保磁力を高めることができる。

【0135】また、この実施形態では、図9に示す工程時において、ハードバイアス層34の上面34bが、フリー磁性層29の上面29bよりも上側に位置するように、ハードバイアス層34を成膜することが好ましい。

【0136】さらに、ハードバイアス層34の下面34aが、フリー磁性層29の下面29aよりも下側に位置していれば、フリー磁性層29の両側には、形成面 α と平行な方向におけるフリー磁性層29の膜厚範囲内にバイアス下地層33を介してハードバイアス層34のみが

対向するため、ハードバイアス層34からフリー磁性層29に、より十分なバイアス磁界を供給でき、より適切にフリー磁性層29の磁化の単磁区化を促進させることができる。

【0137】(8)次に、図10に示す工程では、ハードバイアス層34上にCrやAuなどの電極層36をスパッタ成膜した後、電極層36の上にTaなどの保護層37をスパッタ成膜する。

【0138】(9)そして、同図に示すリフトオフ用のレジスト層Rを除去し、続いて磁気抵抗効果素子20上に、図示外の上部ギャップ層38及び上部シールド層39を形成すると、図1に示す薄膜磁気ヘッドが完成する。

【0139】以上のように、この実施形態では、多層膜31上に一つのリフトオフ用のレジスト層Rを用いることで、多層膜31の両側領域31bのエッチング工程及び両側領域31b上でのアモルファス絶縁層32、バイアス下地層33、ハードバイアス層34、電極層36及び保護層37のスパッタ成膜を連続して行うことができる。このため、上記の製造方法を用いればこの実施形態に係る薄膜磁気ヘッドを容易に製造することができる。

【0140】また、この実施形態では、アモルファス絶縁層32の形成時における第1のスパッタ粒子入射角度 θ_1 をバイアス下地層33の形成時における第2のスパッタ粒子入射角度 θ_2 よりも小さくすることで、アモルファス絶縁層32及びバイアス下地層33を容易に所定の形状で形成できる。さらにこの製造方法によれば、ハードバイアス層34をフリー磁性層29の両側に十分な体積を有して対向させることが容易に行える。

【0141】

【実施例】この実施例では、先ず比較例として、スピナバルブ型薄膜素子の膜構成と同様になるように積層膜を

基板上的 Al_2O_3 からなる絶縁性層上に成膜し、フリー磁性層、非磁性導電層、固定磁性層などをイオンミリングで除去した。上記膜構成を詳述すると、NiFeCrからなるシード層を55Å、PtMnからなる反強磁性層を200Å、基板上的 Al_2O_3 からなる絶縁層上にそれぞれ成膜した。これを比較例1とする。

【0142】次に、比較例1の膜構成の替わりに、上述した本願発明の磁気抵抗効果素子の製造方法で説明したイオンミリングによりエッチングし、反強磁性層の各膜厚が200Åから150Åとした試料(これを比較例2とする)、100Åとした試料(これを比較例3とする)、50Åとした試料(これを比較例4とする)をそれぞれ作成した。

【0143】また、さらに、イオンミリングによりエッチングし、反強磁性層を全てなくした試料(55Åのシード層のみの場合)(これを比較例5とする)、シード層を45Åとした試料(これを比較例6とする)、シード層を20Åとした試料(これを比較例7とする)及びシード層全てなくした試料(これを比較例8とする)をそれぞれ作成した。

【0144】次に、上記比較例1～8の試料上に、Crからなるバイアス下地層を50Å形成し、CoPtからなるハードバイアス層を200Å成膜し、比較例1～8の試料に積層した。

【0145】このようにして完成した比較例1～8に対して、保磁力及び角形比を測定した。このときの測定結果を、次の表1及び図11に示す。なお、この角形比とは、ヒステリシス曲線において、残留磁化 r と飽和磁束磁化 R との比、つまり r/R のことをいう。

【0146】

【表1】

比較例	積層膜	Hc (KA/m)	S (-)
1	PtMn=200 Å	65.6	0.54
2	PtMn=150 Å	64.8	0.54
3	PtMn=100 Å	68.0	0.54
4	PtMn=50 Å	64.0	0.57
5	NiFeCr=55 Å	61.6	0.82
6	NiFeCr=45 Å	71.2	0.81
7	NiFeCr=20 Å	84.0	0.81
8	Al_2O_3 のみ	198.4	0.81

【0147】一方、先の第2の実施形態で詳述した磁気抵抗効果素子である、所謂スピナバルブ型薄膜素子の台形状に形成した多層膜の両側領域の膜構成と同様になるように、基板上的 Al_2O_3 からなる絶縁層上に、積層膜を成膜するようにした。この積層膜の膜構成を詳述すると、基板上的 Al_2O_3 からなる絶縁層上に、NiFeCrからなるシード層を55Å、PtMnからなる反強磁

性層を200Å、順に積層させるようにした。

【0148】次に、この実施形態の膜構成のものを、上述した本発明の磁気抵抗効果素子の製造方法で説明したイオンミリングによりエッチングし、反強磁性層が150Åの膜厚とされた基板を作成した。次に、上記基板上に、上述した本発明の磁気抵抗効果素子の製造方法で説明した方法により、アモルファス絶縁層を25Å成膜し

た試料（これを実施例1とする）、50Å成膜した試料（これを実施例2とする）、100Å成膜した試料（これを実施例3とする）をそれぞれ作成する。次に、この実施例1～3の試料に、それぞれ、Crからなるバイアス下地層を50Å形成した後、CoPtからなるハードバイアス層を200Å形成して、実施例1～3の試料を完成させた。

【0149】そして、これら実施例1～3の試料について、保磁力及び角形比を測定した。この結果を表2に示す。次に、表1及び2と図11とを参照しながら、本実施例1～3と、比較例1～8とについて検討すると以下のような知見が得られた。

【0150】先ず、表1及び図11により、比較例については、比較例1～4のものが角形比が約0.55程度であり、反強磁性層がない比較例5のものに比べて角形比が低くなっている。この結果により、反強磁性層の結晶構造に拘束されて、バイアス下地層が変化し、ハードバイアス層の特性が低下していることが分かる。

【0151】また、表1及び図11から、比較例については、比較例1～5の保磁力が約64KA/m程度である。また、比較例6～8の保磁力がシード層の膜厚が薄くなるに従い、保磁力が大きくなっている。この結果により、反強磁性層またはシード層に拘束されて、バイア

ス下地層が変化してハードバイアス層の特性が低下していることが分かる。

【0152】また、表1及び図11から、比較例1～8の中で最も高い保磁力及び角形比を有するものは比較例8の試料であり、スピナルバルブ形薄膜素子とした場合に、十分なバイアスをフリー層に及ぼすことができるので、再生波形の直線性や安定性を良好に保つものと考えられる。しかしながら、この比較例8の構成のものを、実際のスピナルバルブ形薄膜素子へ適用すると、図13に示すように、フリー層のトラック側方向の両側領域では、ハードバイアス層に先細りが生じて、フリー層に十分なバイアス磁界を発生させるためのハードバイアス層の体積を確保することが難しい。

【0153】これに対して、次の表2に示す実施例1～2については、比較例1～7よりも保磁力が大きい。また、この実施例1～2は、角形比も比較例1～4よりも大きく、比較例5～8と略同様であった。さらに、実施例3については、比較例8と略同等の保磁力、つまり196.8KA/mを有しており、優れた角形比を発揮していることが確認された。

【0154】

【表2】

実施例	Al ₂ O ₃ 膜厚	Hc (KA/m)	S (—)
1	Al ₂ O ₃ =25 Å	101.6	0.79
2	Al ₂ O ₃ =50 Å	84.8	0.79
3	Al ₂ O ₃ =100 Å	196.8	0.78

【0155】この結果により、多層膜の両側領域の反強磁性層上にアモルファス絶縁層を介してバイアス下地層、バイアス層を積層することにより、反強磁性層上に直接バイアス下地層が形成されないように構成された本実施例によれば、反強磁性層の配向の影響がバイアス層へ及ぼされ難くなることが分かる。

【0156】また、本実施例1～3を図1～4に示すような本発明の磁気抵抗効果素子、所謂スピナルバルブ型薄膜磁気ヘッドに適用した場合、フリー層のトラック幅よりもトラック幅方向両側に反強磁性層が延び、両側領域に延びた反強磁性層の上にアモルファス絶縁層と、バイアス下地層とが積層されるので、バイアス層を高い位置に配置することができる。

【0157】従って、この発明によれば、上述の本実施例1～3で示すような優れた磁気特性を有するハードバイアス層を十分な体積で、フリー層のトラック幅方向の両側領域に配置することができるので、再生波形の直線性や安定性を良好に保つことが可能な磁気抵抗効果型磁気ヘッドであるスピナルバルブ型薄膜素子が実現できる。なお、本実施例では、さらに詳細な実験を行い、アモルファス絶縁層の厚さが65Å以上であれば、本実施例3

のように、保磁力及び角形比を比較例8と同等又はそれ以上に達成できることが分かった。

【0158】

【発明の効果】この発明によれば、多層膜の両側領域の反強磁性層上に、アモルファス絶縁層を介してバイアス下地層、バイアス層、電極層が積層されており、反強磁性層の上に直接バイアス下地層が形成されないように構成されているから、反強磁性層の強力な配向特性がバイアス下地層やバイアス層に直接影響を及ぼすのをアモルファス絶縁層で防止できるようになり、良好で安定したハード膜特性が発揮できるようになる。

【0159】しかも、この発明によれば、アモルファス絶縁層を介してバイアス下地層、バイアス層、電極層が積層されており、このアモルファス絶縁層がバイアス下地層やバイアス層の底上げ機能を果たしているからバイアス下地層の上に形成されるバイアス層を、多層膜の両側領域内で高い位置に形成でき、フリー磁性層の両側に十分な体積を有して対向させることができる。

【0160】このように、この発明によれば、ハード膜の先細りを防止することもできるようになり、十分な体積のハード膜がフリー磁性層に対向できるので、バイア

ス層からのバイアス磁界をフリー磁性層に適切に供給でき、フリー磁性層の磁化の単磁区化を促進させることができる。これにより、トラック幅の狭い記録媒体に対しても安定した再生特性が得られる。

【0161】さらに、この発明によれば、アモルファス絶縁層がこのアモルファス絶縁層よりも積層方向の下方にある多層膜にセンス電流が流れるのを防ぐので、シャントロスが低減して出力を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における第1の実施形態の薄膜磁気ヘッドを記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【図2】図1に示す薄膜磁気ヘッドの右側形状を拡大した部分断面図である。

【図3】本発明における第2の実施形態の薄膜磁気ヘッドを記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【図4】本発明における第3の実施形態の薄膜磁気ヘッドを記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【図5】図1に示す薄膜磁気ヘッドの製造方法を示す一工程図である。

【図6】図5に示す工程の次に行われる一工程図である。

【図7】図6に示す工程の次に行われる一工程図である。

【図8】図7に示す工程の次に行われる一工程図である。

【図9】図8に示す工程の次に行われる一工程図である。

【図10】図9に示す工程の次に行われる一工程図である。

【図11】比較例における保磁力と角形比の特性を示すグラフである。

【図12】第1従来例の薄膜磁気ヘッドを記録媒体との

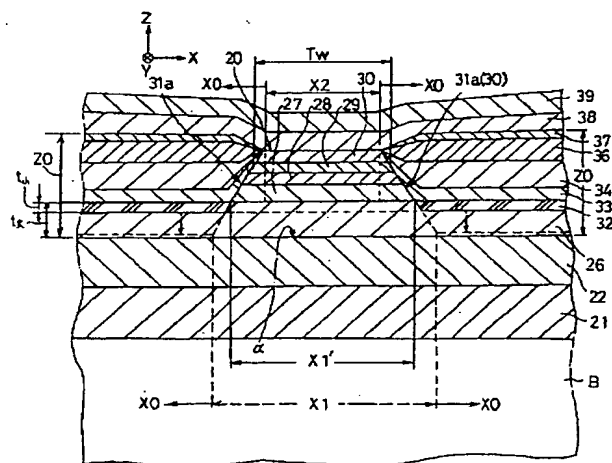
対向面側から見た部分断面図である。

【図13】第2従来例の薄膜磁気ヘッドを記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

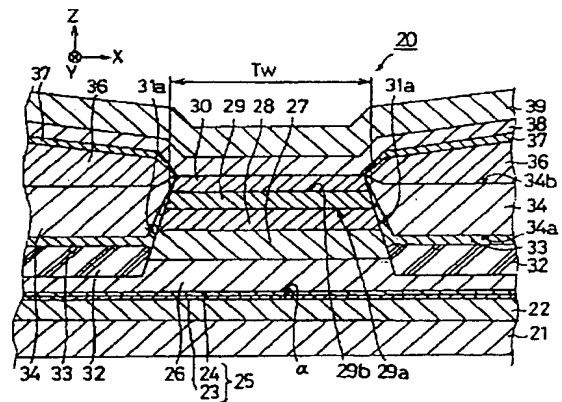
【符号の説明】

- 20 磁気抵抗効果素子
- 21 下部シールド層
- 22 下部ギャップ層
- 25 シードレイヤ層
- 26 反強磁性層
- 27 固定磁性層
- 28 非磁性導電層
- 29 フリー磁性層
- 30 保護層
- 31 多層膜
- 31a (多層膜の)両側端面
- 31b トラック幅方向(図示X方向)における両側領域
- 32 アモルファス絶縁層
- 33 バイアス下地層
- 34 ハードバイアス層
- 36 電極層
- 38 上部ギャップ層
- 39 上部シールド層
- 46 多層膜
- 46a (多層膜の)両側端面
- α 形成面
- B 基板
- Tw トラック幅
- R レジスト層
- X トラック幅方向
- Y ハイト方向
- Z 積層(高さ)方向

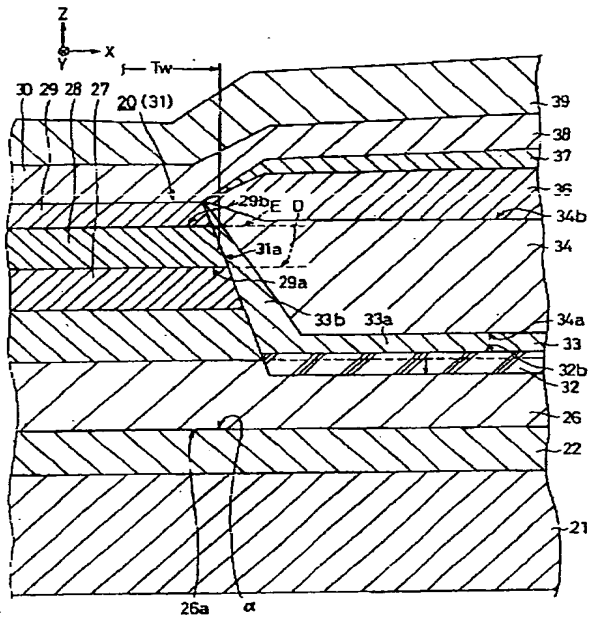
【図1】



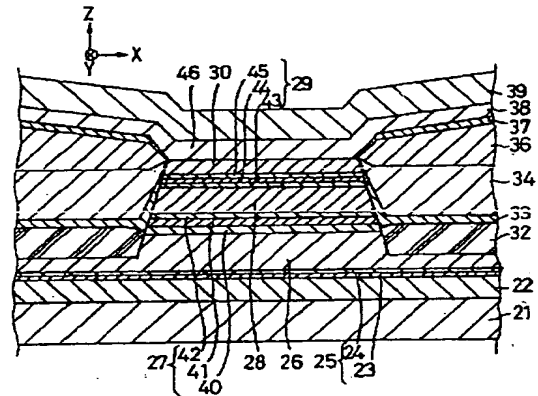
【図3】



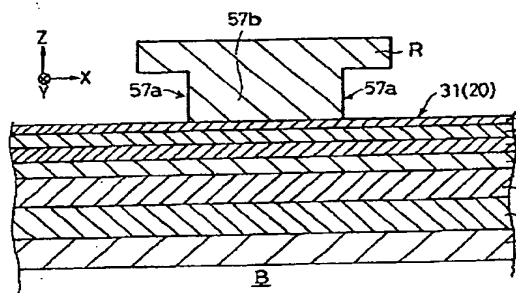
【図2】



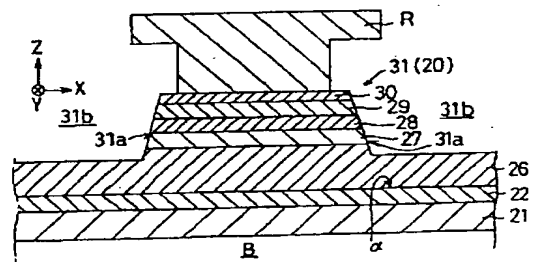
【図4】



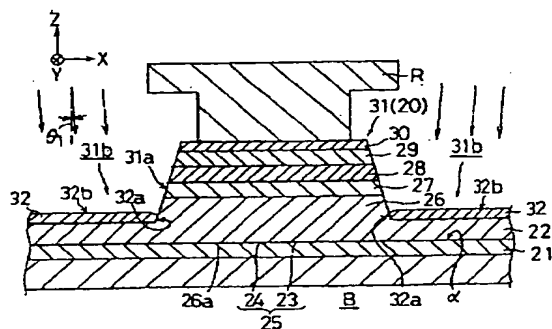
【図5】



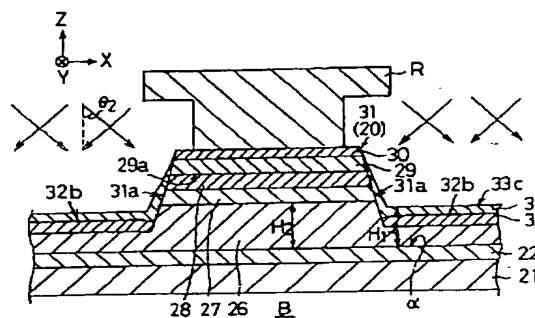
【図6】



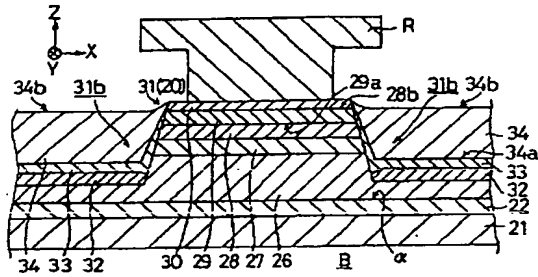
【図7】



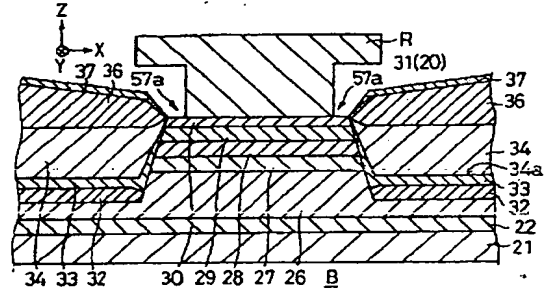
【図8】



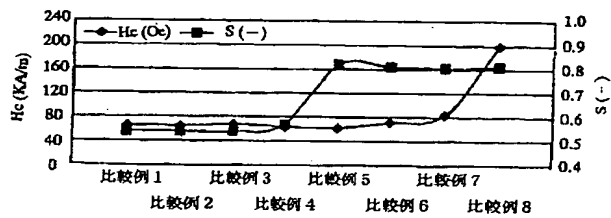
【図9】



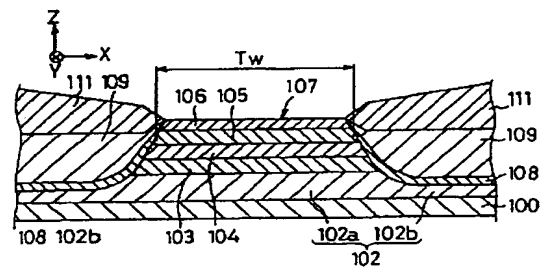
【図10】



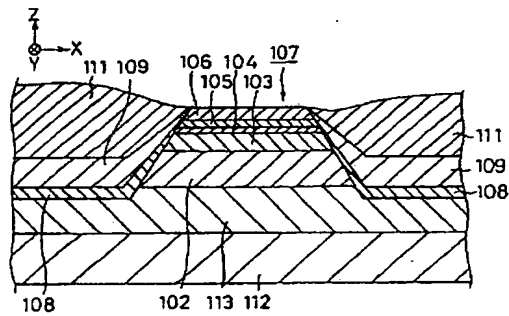
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.

H01F 10/30

10/32

識別記号

FI

H01F 10/32

G01R 33/06

テーマコード(参考)

R

